

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Ikan

Ikan merupakan salah satu hasil perairan yang banyak di manfaatkan oleh manusia karena beberapa kelebihanannya. Ikan merupakan sumber protein hewani yang sangat potensial dan biasanya kandungan proteinnya sekitar 15-20 % tergantung dari jenis ikannya. Protein ikan mempunyai daya cerna yang sangat tinggi yaitu sekitar 95 % (Winiati, 1992). Kandungan/ komposisi ikan segar menurut (Heldman 1992) terdiri dari kandungan air sebanyak 76%, protein 19%, serta kandungan abu (*ash*) sebanyak 14%.

Ikan mempunyai suatu sifat penurunan mutu yang sangat cepat apabila tidak ditangani dengan baik. Adapun faktor-faktor penyebab kebusukan tersebut disebabkan adanya tiga sistem yang bekerja pada ikan tersebut, yaitu sistem enzim dari ikan itu sendiri, sistem enzim dari mikrobiologis dan penengikan. Di antara ketiga proses tersebut, proses mikrobiologislah yang paling dominan. Pada ikan yang masih hidup sumber-sumber bakteri tersebut terdapat pada insang, kulit dan saluran cerna. Apabila ikan tersebut mati terjadi pembusukan yang disebabkan oleh bakteri. Bakteri berkembang pesatnya terutama pada usus dan di dalam otot yang akan menyebabkan terjadinya proses pembusukan (Tabrani, 1997)

Penurunan mutu ikan dapat dilihat dari berubahnya lendir menjadi pekat, bergetah dan amis, mata terbenam dan sinarnya pudar, insang dan isi perut berubah warna dengan susunan yang berantakan dan berbau menusuk, akhirnya seluruh ikan busuk (Ilyas, 1983). Penurunan mutu ikan dipengaruhi oleh kegiatan bakteri sedangkan kegiatan bakteri erat kaitannya dengan suhu. Tabel 2.1 menunjukkan hubungan antara suhu, kegiatan bakteri dan penurunan mutu ikan.

**Tabel 2.1 :** Hubungan Antara Suhu, Kegiatan Bakteri dan Penurunan Mutu Ikan

Suhu	Kegiatan bakteri	Mutu ikan
25°C - 10°C	Luar biasa cepat.	Cepat turun, awet 3-10 jam.
10°C - 2°C	Pertumbuhan kurang cepat.	Mutu menurun kurang cepat, daya awet 2-5 hari.
2°C- (-1°C)	Pertumbuhan jauh berkurang.	Penurunan mutu agak dihambat, daya awet 3-10 hari.
-1°C	Kegiatan dapat ditekan.	Penurunan suhu minimum sehingga daya awet maksimum 5-20 hari.
-1°C- (-10°C)	Ditekan tidak aktif.	Penurunan mutu minimum, tekstur tidak kenyal dan rasa ikan tidak segar, daya awet 7- 30 hari.
>-18°C	Ditekan minimum,	Mutu ikan beku, daya awet setahun.

	bakteri tersisa tidak aktif.	
--	------------------------------	--

Sumber: Ilyas (1983)

Mutu ikan selalu identik dengan kesegaran. Dalam istilah segar tercakup dua pengertian yaitu yang pertama baru saja ditangkap, tidak disimpan atau tidak diawetkan, dan yang kedua mutunya masih original, belum mengalami kemunduran. Kesegaran adalah parameter untuk membedakan ikan yang jelek dan ikan yang baik kualitasnya. Ikan dikatakan masih segar jika perubahan-perubahan biokimiawi, mikrobiologi, dan fisikawi yang terjadi belum menyebabkan kerusakan pada ikan (Ilyas, 1983). Ikan segar memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- Daging ikan padat elastis, tidak mudah lepas dari tulang belakangnya
- Aroma atau baunya segar dan lunak seperti bau rumput laut
- Mata berwarna cerah dan bersih, menonjol penuh serta transparan
- Insang berwarna merah cerah
- Kulit mengkilat dengan warna cerah.

## 2.2 Sistem Pendingin

Sistem pendingin atau refrigerasi adalah produksi atau pengusahaan dan pemeliharaan tingkat suhu dari suatu bahan atau ruangan pada tingkat yang lebih rendah dari pada suhu lingkungan atau atmosfer sekitarnya dengan cara penarikan atau penyerapan panas dari bahan atau ruangan tersebut. Refrigerasi dapat

dikatakan juga sebagai sebagai proses pemindahan panas dari suatu bahan atau ruangan ke bahan atau ruangan lainnya (Ilyas, 1983), sedangkan menurut Arismunandar dan Saito (1986) refrigerasi adalah usaha untuk mempertahankan suhu rendah yaitu suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan kondisi yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu, faktor suhu dan temperatur sangat berperan dalam memelihara dan mempertahankan nilai kesegaran ikan.

Suatu proses pendinginan dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan apabila ditunjang oleh 3 hal utama, yaitu :

1. Siklus pendingin, yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari produk yang akan didinginkan ke media lainnya.
2. Refrigerant, yang berfungsi media pemindah kalor pada siklus pendingin.
3. Produk yang akan didinginkan.

### **2.3 Prinsip Kerja Sistem Pendingin**

Komponen utama dari sistem pendingin (refrigerasi) adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor berfungsi untuk mengalirkan dan menaikkan tekanan gas refrigerant dari evaporator yang selanjutnya dicairkan dalam kondensor. Fungsi dari kondensor mengkondensasikan gas refrigerant dengan menurunkan temperatur dan tekanan gas yang konstan, lalu refrigerant cair dialirkan ke katup ekspansi untuk diturunkan temperatur dan tekanan yang selanjutnya dialirkan ke dalam

evaporator. Refrigerant didalam evaporator menyerap kalor dari udara yang ada disekitarnya (Arismunandar dan Saito, 1986).

Secara umum, prinsip refrigerasi adalah proses penyerapan panas dari dalam ruangan yang tertutup kedap lalu memindahkan serta mengenyahkan panas keluar dari ruangan tersebut. Proses merefrigerasi ruangan tersebut perlu tenaga atau energi, energi yang paling cocok untuk refrigerasi adalah tenaga listrik untuk menggerakkan kompresor unit refrigerasi (Ilyas, 1983).

## **2.4 Klasifikasi Sistem Pendingin**

Klasifikasi sistem pendingin menurut sistem kerjanya dapat dibagi menjadi:

### **2.4.1 *Vapour Compression Refrigerator System***

Sistem ini mengalirkan refrigerant yang menyerap panas dari udara yang ada di sekitarnya melalui evaporator pada tekanan dan temperature yang rendah, sehingga fasenya menjadi uap kemudian dilewatkan ke dalam kompresor untuk dinaikkan temperatur dan tekanannya, lalu uap refrigerant dialirkan ke kondensor hingga ke katup ekspansi untuk diturunkan tekanannya dan temperaturnya. Setelah itu, aliran refrigerant masuk kembali ke dalam evaporator untuk menyerap ruangan yang kemudian dikompresikan lagi oleh kompresor begitu seterusnya (Arismunandar dan Saito , 1986).

#### **2.4.2 Absorbition Refrigeration System**

Dalam sistem ini menggunakan penyerap untuk menyerap refrigerant yang diuapkan di dalam evaporator sehingga menjadi suatu larutan absorpsi. Kemudian, larutan absorpsi tersebut dimasukkan ke dalam sebuah generator untuk memisahkan refrigerant dari larutan absorpsi tersebut, dengan cara memanasi, yang sekaligus akan menaikkan tekanannya sampai mencapai tingkat keadaan mudah diembunkan (Arismunandar dan Saito, 1986).

#### **2.4.3 Air Refregerantion System**

Sistem ini menggunakan udara sebagai refrigerant udara yang bertemperatur rendah masuk ke dalam evaporator kemudian menyerap panas ke dalamnya sehingga temperatur menjadi naik yang selanjutnya dikompresikan ke dalam kompresor sehingga tekanan menjadi naik, lalu dialirkan ke heat exchanger untuk didinginkan sebelum diekspansikan melalui turbin untuk menurunkan temperatur yang selanjutnya di distribusikan ke dalam evaporator (Stoecker, 1987).

#### **2.4.4 Steam Jet Refrigeration System**

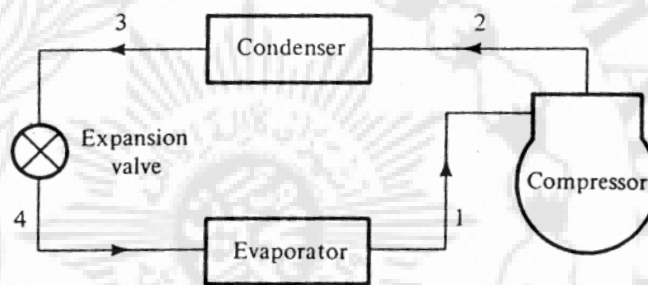
Sistem ini menggunakan air sebagai refrigerant yang mengalir dari evaporator dan akan dialirkan ke jet pump atau diffuser untuk dinaikkan tekanannya dengan bantuan uap air dari ketel uap yang melalui nozzle agar diperoleh kecepatan yang tinggi. Panas dari refrigerant kemudian dibuang melalui kondensor yang selanjutnya dialirkan kekatup ekspansi untuk diteruskan ke evaporator (Stoecker, 1987).

## 2.5 Sistem Pendingin yang Digunakan

### 2.5.1 Siklus Kompresi Uap

Sistem kompresi uap merupakan sistem yang terbanyak dalam sistem refrigerasi. Pada sistem ini uap ditekan, kemudian diembunkan menjadi cairan, lalu tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. (Stoecker, 1989).

Suatu sistem pendingin memiliki proses daur kompresi uap standar, seperti yang terlihat pada gambar 2.1



**Gambar 2.1 : Siklus Kompresi Uap**

(Stoecker, 1989)

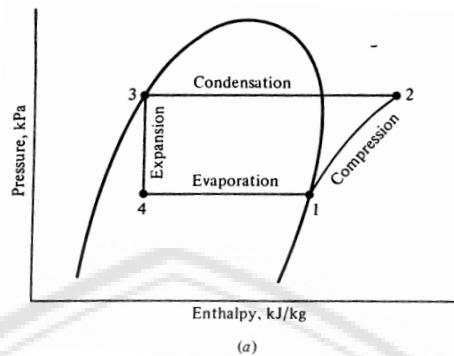
- 1-2 : Kompresi adiabatic dan reversible, dari kondisi uap panas lanjut fluida di kompresi menuju tekanan kerja kondensor.
- 2-3 : Pelepasan kalor reversible pada tekanan yang konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerant.

- 3-4 : Proses ekspansi, terjadi pada entalpi konstan. Yang menurunkan tekanan fluida dari tekanan kondensor (cair jenuh) menuju tekanan evaporator.
- 4-1 : Terjadi penambahan kalor dari lingkungan ke evaporator pada tekanan evaporator yang konstan, menyebabkan penguapan menuju kondisi uap jenuh.
- Keuntungan dari pemakaian sistem kompresi uap :
  - a. Konstruksinya sederhana.
  - b. Biaya investasi rendah.
  - c. Siklus mendekati siklus carnot, sehingga mempunyai harga *coefficient of performance* (COC) yang tinggi.
  - d. Perawatannya lebih murah. (Stoecker, 1989)

### 2.5.2 Siklus Diagram T-S Dan Siklus Diagram P-H

Diagram tekanan – entalpi (P-H) merupakan alat grafis yang biasanya digunakan untuk menyatakan sifat refrigerant. Pada kerja termodinamika lain, diagram suhu – entropi juga cukup populer. Pada prakteknya, entalpi merupakan salah satu sifat terpenting yang harus diketahui, sehingga tekanan akan lebih mudah ditentukan. Diagram tekanan – entalpi (P-H) dan diagram suhu-entropi, seperti yang terlihat pada gambar 2.2





**Gambar 2.2 : Siklus Diagram P-H**

(Stoecker, 1987)

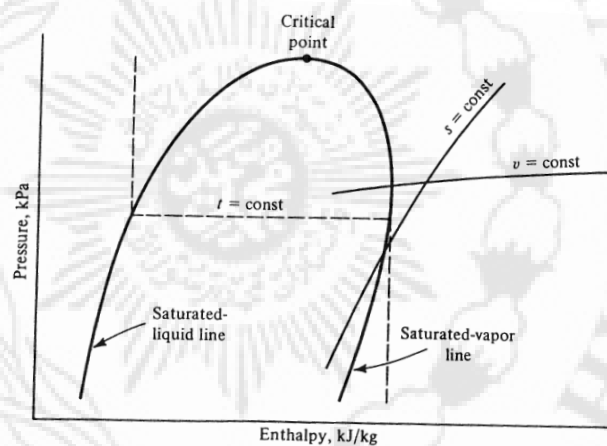
Dijelaskan melalui diagram T-S dan menjelaskan melalui diagram P-H proses kerjanya dapat dilihat pada keterangan berikut ini:

- 1-2 : proses terjadinya pada kompresor yang berlangsung secara isentropic. Uap refrigerant dari evaporator dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik.
- 2-3 : proses terjadinya pada kondensor yang berlangsung secara isobaric. Uap refrigerant dari kompresor yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi masuk ke kondensor untuk didinginkan sehingga refrigerant berubah menjadi fase dari uap menjadi cair. Media yang digunakan adalah udara.
- 3-4 : proses yang berlangsung di katup ekspansi secara isentropic. Cairan refrigerant yang keluar dari kondensor dikabutkan didalam katup ekspansi sehingga tekanan dan temperaturnya turun dengan tujuan agar refrigerant dapat masuk kedalam pipa-pipa evaporator.

- 4-1 : proses yang terjadi pada evaporator yang berlangsung secara isentropic dan isobaric. Di evaporator dengan temperatur dan tekanan yang rendah menyebabkan refrigerant menyerap panas yang ada di sekitarnya kemudian refrigerant itu masuk kembali ke kompresor untuk dikompresikan (Stoecker, 1989).

### 2.5.3 Siklus Kompresi Uap Aktual

Keadaan yang sebenarnya, pada kenyataan tidak sama dengan siklus ideal seperti yang terlihat pada gambar 2.3



**Gambar 2.3 : Siklus Kompresi Uap Aktual**

(Stoecker, 1989)

Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi adalah :

- *Sub cooling* (bawah dingin) cairan titik 3. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa refrigerant yang melalui katup ekspansi selalu dalam keadaan cair. Jika terdapat gelembung uap, maka akan mengganggu aliran

refrigerant yang melalui alat ekspansi, disamping itu penyimpangan ini mengakibatkan efek pendingin akan meningkat.

- *Super heating* (panas lanjut) uap dititik 1. Pemanasan lanjut ini biasanya terjadi didalam evaporator dan dilakukan sebagai pencegah cairan agar tidak memasuki kompresor. Walaupun dampak refrigerasi dapat ditingkatkan, akan tetapi kerja kompresi akan lebih tinggi.
- Penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator. Penurunan tekanan ini tidak dapat dihindari karena adanya gesekan pada pipa-pipa kondensor dan evaporator.
- Ekspansi non adiabatic. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas dari luar refrigerant yang akan mengurangi efek refrigerasi.
- Kompresor non isentropis. Hal ini terjadi karena adanya gesekan yang terjadi antara refrigeran dengan peralatan kompresi (Stoecker, 1989).

## **2.6 Perpindahan Panas**

Metode perpindahan panas mempunyai 3 cara yaitu :

### **2.6.1 Konduksi (Hantaran)**

Adalah perpindahan panas yang disebabkan adanya perbedaan suhu pada suatu benda antara sisi dalam dan sisi liarnya. Untuk perpindahan panas konduksi, laju perpindahan panasnya dapat didekati dengan persamaan fourier. Untuk tinjauan satu dimensi, persamaan fourier yang diutarakan oleh Holman (1994) dapat dilihat pada persamaan 2.1 :

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dx}{dT} \dots (2.1)$$

Dimana :

$q$  : laju perpindahan panas konduksi (Btu/hr)

$k$  : konduktivitas termal dinding (Btu/hr.ft.°F)

$A$  : luas penampang (ft<sup>2</sup>)

$\frac{dx}{dT}$  : perbedaan suhu ke arah perpindahan panas antara dua titik (°F/ft)

(Holman.1994)

### 2.6.2 Radiasi (Pancaran)

Pemindahan energi secara radiasi berlangsung jika foton-foton di pancarkan dari suatu permukaan ke permukaan lain. Pada saat mencapai permukaan lain foton yang dihasilkan juga diserap, dipantulkan atau diteruskan melalui permukaan.

Energi yang diradiasikan dari suatu permukaan ditentukan dalam bentuk daya pancar (*emissive power*), yang secara termodinamika dapat dibuktikan bahwa daya pancar tersebut sebanding dengan pangkat empat suhu absolutnya. Untuk radiator ideal, biasanya berupa benda hitam, daya pancar  $E_b \text{ W/m}^2$ , yang diutarakan oleh Stoecker (1987) dapat dilihat pada persamaan 2.2 :

$$E_b = \sigma T^4 \dots (2.2)$$

Dimana :

$\sigma$  : konstanta Stefan-Boltzman =  $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$T$  : suhu absolute, K

### 2.6.3 Konveksi (Aliran)

Adalah cara perpindahan panas yang mengalir pada bagian fluida ke bagian fluida yang lain dan lebih rendah temperaturnya yang disebabkan adanya perpindahan panas atau aliran partikel-partikelnya. Dengan menggunakan hukum newton tentang pendinginan, pengaruh kondisi secara menyeluruh dapat dilihat pada persamaan 2.3 :

$$Q = h.A.(T_1 - T_0) \dots (2.3)$$

Dimana :

$T_0$  : temperature fluida (°F)

$T_1$  : temperature dinding (°F)

(Stoecker, 1987)

## 2.7 Komponen Utama Sistem Pendingin

Komponen pokok adalah komponen yang harus ada/ dipasang dalam mesin refrigerasi. Menurut Hartanto (1982) komponen pokok tersebut meliputi : Kompresor, kondensor, tangki penampung (*receiver tank*), katup ekspansi dan evaporator. Masing masing komponen dalam sistem kompresi uap mempunyai sifat-sifat yang tersendiri (Stoecker, 1989).

### 2.7.1 Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari suatu sistem refrigerasi mekanik, berfungsi untuk menggerakkan sistem refrigerasi agar dapat mempertahankan

suatu perbedaan tekanan antara sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tinggi dari sistem (Ilyas, 1993).

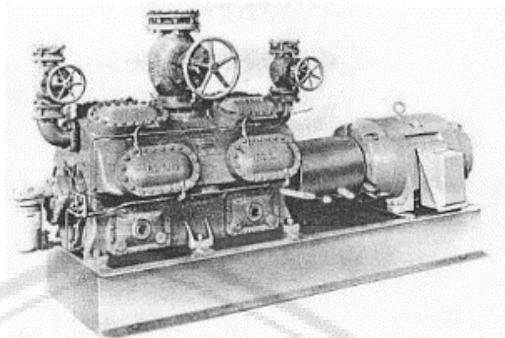
Kompresor refrigerasi yang paling umum adalah kompresor torak (*reciprocating compressor*), sekrup (*screw*), sentrifugal, sudu (*vane*) (Stoecker, 1989).

Menurut Hartanto (1985) berdasarkan cara kerjanya kompresor dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kompresor torak dan kompresor rotary.

Beberapa jenis kompresor antara lain :

1. Kompresor torak ( *reciprocating compresor*)

Kompresor torak yaitu kompresor yang kerjanya dipengaruhi oleh gerakan torak yang bergerak menghasilkan satu kali langkah hisap dan satu kali langkah tekan yang berlainan waktu. Kompresor torak digunakan untuk tekanan tinggi (>20 bar) sehingga cocok untuk aplikasi sistem refrigerasi dimana dibutuhkan kenaikan tekanan yang besar untuk meningkatkan temperature discharge-nya. Kompresor torak lebih banyak digunakan pada unit mesin pendingin berkapasitas besar maupun kecil seperti lemari es, *cold storage*, *coll room*. Kelemahan kompresor jenis ini adalah konstruksinya yang rumit dengan banyaknya part yang bergerak. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4

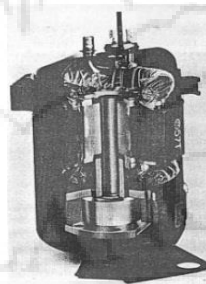


**Gambar 2.4 : Kompresor Torak**

Hartanto (1985)

2. Kompresor rotary

Kompresor rotary yaitu kompresor yang kerjanya berdasarkan putaran roller pada rumahnya, prinsip kerjanya adalah satu putaran porosnya akan terjadi langkah hisap dan langkah tekan yang bersamaan waktunya, kompresor rotary terdiri dua macam yaitu kompresor rotary dengan pisau / *blade* tetap, seperti yang terlihat pada gambar 2.5



**Gambar 2.5 : Kompresor Rotary**

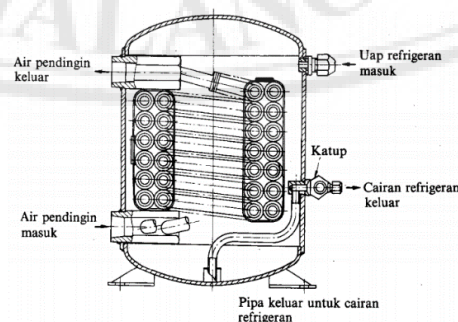
Hartanto (1985)

### 2.7.2 Kondensor

Pengembun atau kondensor adalah bagian dari refrigerasi yang menerima uap refrigerant tekanan tinggi yang panas dari kompresor dan mengenyahkan panas pengembunan itu dengan cara mendinginkan uap refrigerant tekanan tinggi yang panas ke titik embunnya dengan cara mengenyahkan panas sensibelnya. Pengenyahan selanjutnya panas laten menyebabkan uap itu mengembun menjadi cairan (Ilyas,1993).

#### 1. Kondensor pendingin tabung dan koil

Kondensor tabung dan koil banyak dipergunakan pada unit dengan Freon sebagai refrigerant berkapasitas relatif kecil, misalnya penyegar udara jenis paket, pendingin air dan sebagainya. Kondensor tabung dan oil dengan koil pipa pendingin didalam tabung yang dipasang pada posisi vertical. Koil pipa pendingin tersebut biasanya dibuat dari tembaga, tanpa sirip atau dengan sirip (*aerofin tube*). Pada kondensor tabung dan koil, air mengalir didalam koil pipa pendingin. Endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan dengan mempergunakan zat kimia (deterjen), seperti yang terlihat pada gambar 2.8

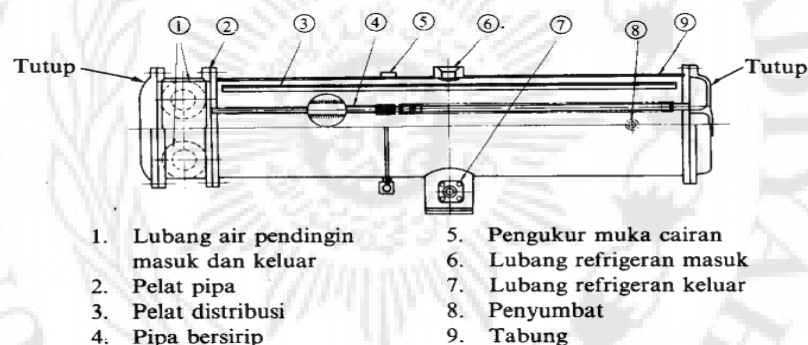


**Gambar 2.6 : Kondensor Pendingin Tabung dan Koil (Ilyas,1993)**



## 2. Kondensor tabung dan pipa horizontal

Kondensor jenis ini banyak digunakan pada unit kondensor berukuran kecil sampai besar, unit pendingin air dan penyegar udara paket baik untuk ammonia maupun Freon. Didalam kondensor tabung dan pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin mengalir di dalam pipa-pipa tersebut. Ujung dan pangkal pipa pendingin terikat pada plat-pipa, sedangkan diantara plat-pipa dan tutup tabung dipasang sekat-sekat, untuk membagi aliran air yang melewati pipa-pipa tersebut tetapi juga untuk mengatur agar kecepatannya cukup tinggi (1,5 sampai 2 m/detik), seperti yang terlihat pada gambar 2.7



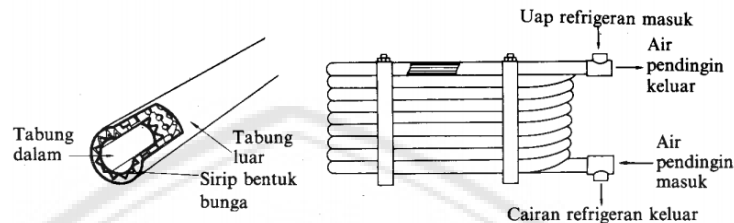
**Gambar 2.7 : Kondensor Tabung dan Pipa Horizontal**

(Ilyas,1993)

## 3. Kondensor jenis pipa ganda

Kondensor jenis ini merupakan susunan dari dua pipa koaksial, dimana refrigerant mengalir melalui saluran yang terbentuk antara pipa dalam dan pipa luar, dari atas ke bawah. Sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa dalam

arah berlawanan dengan arah aliran refrigerant ; jadi, dari bawah ke atas, seperti yang terlihat pada gambar 2.8

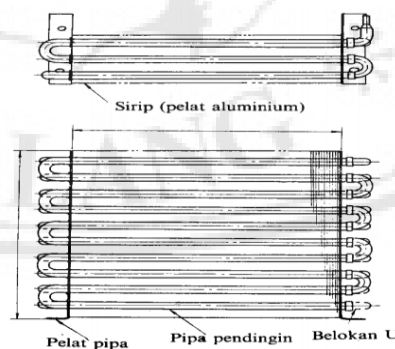


**Gambar 2.8 : Kondensor Jenis Pipa Ganda**

(Ilyas,1993)

#### 4. Kondensor pendingin udara

Kondensor pendingin udara terdiri dari koil pipa pendingin bersirip pelat (pipa tembaga dengan sirip almunium, atau pipa tembaga dengan sirip tembaga). Udara mengalir dengan arah tegak lurus pada bidang pendingin. Gas refrigerant yang bertemperatur tinggi masuk ke bagian atas dari koil dan secara berangsur-angsur mencair dalam alirannya ke bagian bawah koil, seperti yang terlihat pada gambar 2.9



**Gambar 2.9 : Kondensor Pendingin Udara**

Menghitung panas atau kalor yang dilepaskan oleh kondensor agar sistem dapat bekerja dengan maksimal dapat dilihat pada persamaan 2.5

$$Q_{kondensor} = Q \times R \dots (2.5)$$

Dimana :

Q : beban pendingin (W)

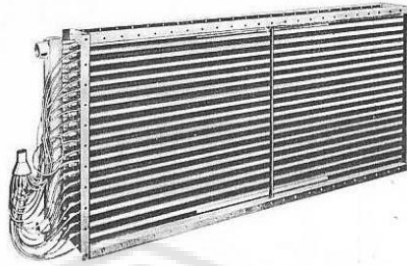
R : rasio pelepas kalor

(Ilyas,1993)

### 2.7.3 Evaporator

Pada kebanyakan evaporator, refrigerant mendidih di dalam pipa-pipa dan mendinginkan fluida yang lewat di luar pipa tersebut. Evaporator yang mendidihkan refrigerant di dalam pipa biasa disebut evaporator ekspansi langsung. Sedangkan pada evaporator ekspansi tidak langsung, udara didinginkan oleh refrigerant sekunder seperti air atau larutan garam yang mengalir melalui pipa tersebut.

Evaporator ekspansi langsung yang digunakan untuk pengkondisian udara biasanya disuplai oleh katup ekspansi yang mengatur aliran cairan sehingga uap refrigerant yang meninggalkan evaporator berada dalam kondisi kalor lanjut. Konsep lainnya adalah evaporator dengan pendauran ulang cairan (*liquid recirculation*) atau evaporator cairan berlebih (*liquid over-feed*), disini cairan pada tekanan dan suhu rendah dipompa ke dalam evaporator. Sebagian cairan mendidih di dalam evaporator, dan sisinya meluap ke saluran keluar. Cairan yang keluar dari evaporator dipisahkan dan uapnya dialirkan ke kompresor, seperti yang terlihat pada gambar 2.10



**Gambar 2.10 : Evaporator Ekspansi Langsung**

Luas bidang kontak perpindahan panas yang mampu untuk mengatasi beban pendingin pada ruangan yang akan dikondisikan dapat dilihat pada persamaan 2.6

$$A = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{U_o \times \text{LMTD}} \dots (2.6)$$

Dimana :

$Q_{\text{evaporator}}$  : Beban pendingin (W)

$U_o$  : Koefisien perpindahan panas ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ )

LMTD : Beda suhu rata-rata logaritma ( $^\circ\text{K}$ )

(Arismunandar dan Saito, 1986)

#### 2.7.4 Alat Ekspansi

Elemen dasar yang terakhir dalam daur ulang refrigerasi uap setelah kompresor, kondensor, dan evaporator adalah alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua fungsi, yaitu :

- Menurunkan tekanan refrigerant cair
- Mengatur aliran refrigerant ke evaporator

Beberapa macam alat ekspansi, yaitu :

- Pipa kapiler

- Katup ekspansi berpengendali kalor lanjut
- Katup apung
- Katup ekspansi tekanan konstan

Alat ekspansi seperti yang terlihat pada gambar 2.11



**Gambar 2.11 : Alat Ekspansi**

(Arismunandar dan Saito, 1986)

## **2.8 Refrigerant**

### **2.8.1 Persyaratan Refrigerant**

Unit-unit refrigerasi banyak dipergunakan untuk daerah temperatur yang luas, dari unit untuk keperluan pendinginan udara sampai refrigerasi. Untuk unit refrigerasi, hendaknya dapat dipilih refrigerant yang paling sesuai dengan kompresor yang dipakai, dan karakteristik termodinamikanya yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan (Dossat, 1980).

Persyaratan refrigerant untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut:

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi

Sebaiknya refrigerant memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga peurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan, dan sebagainya, menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Refrigerant yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigerant yang bersikulasi menjadi lebih kecil.

4. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil

Refrigerant dengan penguapan kalor laten yang cukup besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian, untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

Namun, untuk unit pendingin air sentrifugal yang kecil, lebih dikehendaki refrigerant dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk

menaikkan jumlah gas yang bersikulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor sentrifugal.

5. Koefisiensi prestasinya harus tinggi

Dari segi karakteristik termodinamika dari refrigerant, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi

6. Konduktivitas termal yang tinggi

Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor

7. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas

Dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang

8. Konstanta dielektrika dari refrigerant yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik

9. Refrigerant hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi, juga tidak menyebabkan korosi

10. Refrigerant tidak boleh beracun dan berbau merangsang

11. Refrigerant tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak

12. Refrigerant harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran

13. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh

(Dossat, 1980).

### **2.8.2 Karakteristik Termodinamika dari Beberapa Refrigerant**

Sebaiknya refrigerant menguap pada tekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dengan demikian, dapat dicegah terjadinya kebocoran udara luar masuk sistem refrigerant karena kemungkinan adanya vakum pada seksi masuk kompresor (bagian tekanan rendah). Selain itu, dapat dicegah turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi, yang dapat disebabkan karena berkurangnya tekanan di bagian tekanan rendah. Itulah sebabnya mengapa titik didih refrigerant merupakan salah satu factor yang sangat penting. Boleh dikatakan, bahwa refrigerant yang memiliki titik didih yang rendah biasanya dipakai untuk keperluan operasi pendinginan temperatur rendah (refrigerasi). Sedangkan refrigerant yang memiliki titik didih yang tinggi digunakan untuk keperluan pendinginan temperatur tinggi (pendingin udara). Jadi, titik didih refrigerant merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigeran dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah. Dari segi termodinamika, R12, R22, R500, R520, ammonia, dan sebagainya, dapat dipakai untuk daerah temperatur yang luas, dari keperluan pendinginan sampai ke refrigerasi (Dossat, 1980).

### **2.9 Beban Pendingin**

Beban pendingin merupakan suatu parameter yang penting untuk merancang suatu sistem pendingin. Beban pendingin didapatkan dari jumlah kalor dari berbagai sumber-sumber kalor yang mempengaruhi sistem pendingin. Dalam



perancangan ini beban pendinginan yang terjadi adalah beban pending melalui dinding, beban pendingin akibat pintu, beban pendingin produk, beban pendingin akibat infiltrasi dan beban pendingin akibat radiasi matahari. (Dossat, 1980)

### 2.9.1 Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi disebabkan karena adanya perbedaan temperatur antara ruang pendingin dengan sekelilingnya, misalnya melalui dinding, atap, dan lantai. Besarnya beban ini dipengaruhi oleh tipe isolasi, tebal isolasi, konstruksi, luas dinding luar dan perbedaan temperatur antara ruang pendingin dan diluarnya (Dossat, 1980;182), dapat dilihat pada persamaan 2.7

$$Q_{lt} = A \times U \times \Delta T \dots (2.7)$$

Dimana :

A : luas permukaan dinding ( $m^2$ )

U : koefisien perpindahan panas total ( $W/m^2K$ )

$\Delta T$  : selisih temperatur ( $^{\circ}K$ )

Koefisien perpindahan panas total dapat dilihat pada persamaan 2.8

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_1} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{f_o} \dots (2.8)$$

Dimana :

$f_1$  : koefisien konveksi dari permukaan bagian dalam ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ )

$f_o$  : koefisien konveksi dari permukaan bagian luar ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ )

x : tebal material (m)

k : konduktivitas termal ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$ )

### 2.9.2 Infiltrasi

Beban pertukaran udara dapat terjadi karena masuknya udara luar ke ruang pendingin ini mengandung panas. Udara bebas ini akan menjadi beban mesin refrigerator. (Dossat, 1980)

Besarnya beban pendingin infiltrasi ini dapat dilihat pada persamaan 2.9

$$Q_{in} = m \cdot \Delta H \dots (2.9)$$

Dimana :

$m$  : laju infiltrasi (kg/s)

$\Delta H$  : faktor perubahan infiltrasi udara (Kj/L)

### 2.9.3 Panas Produk

Panas yang dikeluarkan oleh makanan dan minuman merupakan pendinginan yang harus diatasi oleh mesin pendingin. Besarnya beban pendingin tergantung dari banyak atau sedikitnya makanan dan minuman yang akan dimasukkan. Sehingga pertambahan panas ruangan yang disebabkan oleh produk (Dossat, 1980), dapat dilihat pada persamaan 2.10

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \dots (2.10)$$

Dimana :

$Q$  : jumlah panas dalam (Btu)

$m$  : massa produk (lb)

$c_p$  : spesifik heat diatas titik beku (Btu/lb.°F)

$\Delta T$  : perbedaan temperatur produk (°F)